

”УТВЕРЖДАЮ”  
Директор  
НИЦ ”Курчатовский институт” — ИФВЭ  
академик РАН С. В. Иванов

” 30 ” \_\_\_\_\_ июня \_\_\_\_\_ 2019 г.

### **Отзыв ведущей организации**

федерального государственного бюджетного учреждения ”Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра ”Курчатовский Институт’ ” на диссертацию Невзорова Романа Борисовича ”Феноменологические аспекты суперсимметричных расширений стандартной модели”, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Суперсимметричные расширения стандартной модели и их возможные экспериментальные проявления по-прежнему представляют собой актуальное направление исследований. Одна из нерешенных в стандартной модели проблем — стабилизация массы бозона Хиггса по отношению к радиационным поправкам стала еще более актуальной после его экспериментального обнаружения. Важную роль суперсимметрии играют и практически во всех попытках построения единых теорий, объединяющих сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия. Кроме того, суперсимметричные модели могут быть полезны для понимания механизмов генерации барионной асимметрии и проблемы темной материи.

Экспериментальное обнаружение бозона Хиггса и имеющиеся на сегодня данные не позволяют однозначно ответить на вопрос является ли он элементарным или составным. Поэтому модели, в которых этот бозон является связанным состоянием (тоже, как правило, включающие суперсимметрию) по-прежнему представляют несомненный интерес.

Исследованию реалистических теорий суперсимметричных расширений стандартной модели и их возможных проявлений и посвящена настоящая диссертация.

**Структура диссертации** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографии и трех приложений.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, приводится подробная мотивация выбранного подхода. Сформулированы задачи и цели работы.

**Первая глава** посвящена исследованию суперсимметричных расширений стандартной модели, которые могут возникать в низкоэнергетическом пределе единой теории с калибровочной группой  $E_6$ . Важную роль здесь играет разработка механизмов (основанных на дополнительных калибровочных и дискретных симметриях) подавления слишком быстрого распада протона, а также нейтральных переходов с изменением аромата в кварковом и/или лептонном секторах. Одной из проблем единых теорий (не только суперсимметричных) является необходимость введения большого числа скалярных полей для того, чтобы обеспечить нужный сценарий нарушения единой симметрии и генерации масс частиц. Одним из путей решения этой проблемы могут быть рассматриваемые в этой же главе модели с дополнительными (компактными) измерениями, в которых механизм нарушения симметрии заложен в геометрию компактифицированного многообразия. Далее в этой главе исследуется нарушение калибровочной симметрии в электрослабом секторе и спектр масс бозонов Хиггса, легчайший из которых должен отождествляться с наблюдаемым. В этой же главе исследуются и другие возможные проявления как в ускорительных экспериментах, так и в космологии.

**Вторая глава** посвящена моделям, в которых бозон Хиггса является составной частицей. Это требует введения дополнительной калибровочной симметрии, которая в режиме сильной связи может приводить к образованию связанных состояний (по аналогии с квантовой хромодинамикой). Относительно малая (по сравнению с масштабом единых теорий) масса Хиггсовского бозона может быть связана с тем, что он является псевдо-голдстоуновской частицей (аналогично  $\pi$ -мезону). Здесь же исследуется нарушение калибровочной симметрии и генерация масс фермионов в таких моделях, а также возможность наблюдения дополнительных бозонов в экспериментах на БАК.

В **третьей** главе исследуются модели, в которых эффективный потенциал скалярных полей имеет вырожденные минимумы, соответствующие существенно разным масштабам, в том числе такого рода модели, кото-

рые могут возникать в супергравитации. Интерес к таким моделям связан с тем, что они могут приводить к оценкам на массы бозона Хиггса и  $t$ -кварка, которые оказываются неожиданно близки к наблюдаемым значениям. Интересно также и то, что в случае супергравитации, предполагая, что плотность энергии в двух вакуумах близки, можно получить и оценку на величину космологической постоянной.

**Научная новизна** В диссертации разработан новый класс суперсимметричных моделей, которые могут возникать в низкоэнергетическом пределе единых теорий с группой  $E_5$  (как четырехмерных, так и с дополнительными измерениями). Важную роль при этом играла разработка механизмов подавления слишком быстрого распада протона и нейтральных переходов с изменением аромата. Также разработаны новые модели в которых бозон Хиггса является составной частицей, а также новые модели с вырожденными вакуумами. Разработка новых моделей сопровождалась исследованием их возможных экспериментальных проявлений.

**Достоверность результатов** диссертации сомнений не вызывает. Исследования проводились с использованием современных аналитических (включая использование специализированного программного обеспечения) и численных методов. От всех моделей требовалась согласованность со всеми имеющимися данными.

**Использование результатов** Методы и подходы, развитые в диссертации несомненно могут быть использованы и при исследовании других суперсимметричных моделей. В то же время, возможные наблюдаемые проявления исследованных моделей будут играть важную роль при планировании и интерпретации экспериментов по поиску новой физики на БАК.

Некоторые замечания.

- В диссертации изучался целый ряд новых моделей, причем в каждой возможны различные сценарии, зависящие от набора полей и значения тех или иных параметров. Естественно, что каждый такой сценарий имеет свои достоинства и недостатки (например разную степень необходимой тонкой настройки параметров). Было бы полезно привести в одном месте (например в конце первой главы) взвешенный набор наиболее реалистичных (по мнению автора) сценариев.
- Такое же замечание можно отнести и к возможным наблюдаемым проявлениям таких моделей, таких как нестандартные распады бозона

Хиггса или возможность наблюдения новых частиц, которые оказались распределены по всему тексту диссертации.

- Модели с вырожденными вакуумами представляют собой относительно новый и не слишком широко известный класс. Было бы полезно описать эти модели более подробно.

В целом диссертация представляет собой вполне законченное фундаментальное исследование по актуальной тематике выполненное на высоком научном уровне. Все результаты работы своевременно опубликованы и обсуждались на многочисленных конференциях и семинарах. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации. Все вышесказанное позволяет заключить, что диссертация "Феноменологические аспекты суперсимметричных расширений стандартной модели" полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, в частности пунктам 9, 10, 11, 13 и 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Правительством Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор Р. Б. Невзоров заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Диссертация Невзорова Романа Борисовича "Феноменологические аспекты суперсимметричных расширений стандартной модели" была заслушана и одобрена на семинаре Отдела Теоретической физики НИЦ "Курчатовский институт" — ИФВЭ.

Отзыв составил

главный научный сотрудник

Отдела теоретической физики, д.ф.-м.н.

Ю. М. Зиновьев

Начальник Отдела теоретической физики

д.ф.-м.н, профессор

В. А. Петров

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Институт физики высоких энергий имени А. А. Логунова Национального исследовательского центра 'Курчатовский Институт' "

142281, Московская обл., г. Протвино, площадь Науки, д.1

тел. (4967) 71-36-23, Email: fgbu@ihep.ru

## Приложение: Сведения о ведущей организации

Полное и сокращённое наименование организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение "Институт физики высоких энергий имени А. А. Логанова Национального исследовательского центра 'Курчатовский Институт' " (НИЦ "Курчатовский Институт" — ИФВЭ)
Место нахождения (город, область)	г. Протвино, Московская область
Почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты, адрес официального сайта организации в сети Internet	142281, Московская обл., г. Протвино, площадь Науки, д.1 Телефон:(4967) 71-36-23 Эл. почта: fgbu@ihep.ru Официальный сайт: www.ihep.ru
Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющих отзыв, за последние 5 лет по теме диссертации	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. I. L. Buchbinder, M. V. Khabarov, T. V. Snegirev, Y. M. Zinoviev, Lagrangian formulation for the infinite spin <math>N=1</math> supermultiplets in <math>d=4</math>, Nucl. Phys. B 946 (2019) 114717.</li> <li>2. I. L. Buchbinder, M. V. Khabarov, T. V. Snegirev, Y. M. Zinoviev, Lagrangian description of the partially massless higher spin <math>N = 1</math> supermultiplets in <math>AdS_4</math> space, JHEP 1908 (2019) 116.</li> <li>3. I. L. Buchbinder, M. V. Khabarov, T. V. Snegirev, Y. M. Zinoviev, Lagrangian formulation of the massive higher spin <math>N=1</math> supermultiplets in <math>AdS_4</math> space, Nucl. Phys. B 942 (2019) 1.</li> <li>4. Y. M. Zinoviev, On Partially Massless Supergravity, Phys. Part. Nucl. 49 (2018) 850.</li> <li>5. Y. M. Zinoviev, On massive super(bi)gravity in the constructive approach, Class. Quant. Grav. 35 (2018) 175006.</li> <li>6. I. L. Buchbinder, T. V. Snegirev, Y. M. Zinoviev, Supersymmetric higher spin models in three dimensional spaces, Symmetry 10 (2017) 9.</li> <li>7. I. L. Buchbinder, T. V. Snegirev, Y. M. Zinoviev, Lagrangian description of massive higher spin supermultiplets in <math>AdS_3</math> space, JHEP 1708 (2017) 021.</li> <li>8. Y. M. Zinoviev, Massive higher spin supermultiplets in 3d, Phys. Part. Nucl. Lett. 14 (2017) 318.</li> <li>9. I. L. Buchbinder, T. V. Snegirev, Y. M. Zinoviev, Unfolded equations for massive higher spin supermultiplets in <math>AdS_3</math>, JHEP 1608 (2016) 075.</li> <li>10. I. L. Buchbinder, T. V. Snegirev, Y. M. Zinoviev, Lagrangian formulation of the massive higher spin supermultiplets in three dimensional space-time, JHEP 1510 (2015) 148.</li> </ol>